

テラヘルツ波光源のための半導体レーザー制御技術の可能性調査研究（Ⅱ）

安達 雅 浩*¹

松 延 剛*²

野 田 純 也*³

【要 旨】

電波と光波の中間的な性質を有するテラヘルツ波は、X 線に代替するイメージング、薬物・爆発物の非接触検知、バイオセンシング、高速無線通信などに有用性があり、今後さまざまなアプリケーションへの利用が進められていくことが予想される。しかし、テラヘルツ波に取り組むための環境整備にはまだまだコストがかかり、技術普及の妨げになっていることから、本調査研究においては、昨年度に引き続き、時間領域分光法に適用するための比較的安価な半導体レーザーの高速パルス発生手法によるテラヘルツ波光源への適用を検討し、実用化への可能性を調査したので報告する。

1 はじめに

テラヘルツ波の計測には、テラヘルツ波をフーリエ変換することにより電磁波のスペクトルが得られる時間領域分光法がよく用いられている。この方法は、テラヘルツ波の時間応答を計測することから、振幅と位相の両方の情報が得られるというメリットがある。特にテラヘルツ波帯域の材料評価には、複素屈折率・誘電率が得られることから、テラヘルツ波におけるエリプソメトリーや複素誘電率評価に用いることが可能である。

時間領域分光法は、光源にフェムト秒パルスレーザーを用いて、光伝導アンテナと呼ばれるデバイスを一対対向させ、テラヘルツ波の送受信する構成により行う。入射するフェムト秒パルスレーザーは2分割して、一方を送信用光伝導アンテナに入射し、一方を受信用光伝導アンテナに入射する構成で、一方を時間的に遅延させることで、テラヘルツ波の時間応答波形が得られる。光伝導アンテナの他にも非線形光学結晶を用いた電気光学

サンプリング法があるが、光伝導アンテナは広帯域なテラヘルツ波を送受信できることから、更なる高周波帯域まで網羅できることがわかっている。また、光伝導アンテナは、半導体基板上に電極をパターンニングするシンプルな構造で、作成も容易であることから、テラヘルツ波技術に取りかかるには、最もアプローチがしやすいと考えられる。

本可能性調査研究においては、テラヘルツ波技術に取り組もうとされるときに、簡易的・ローコストでの時間領域分光法を構築するために、高速光パルスの小型化・低価格化に向けた試行を行った。

2 実験方法及び結果

2.1 光パルスの生成

半導体レーザー（LD : Laser Diode）のゲインスイッチング手法により発生した高速光パルスは、短波長側が早く、長波長側が遅く進むレッドシフトチャープと呼ばれる状態で発振することから、発生した光パルスをチャープ補償することで、本来有する最も速い応答パルス（フーリエ限界パルス）に近づけることが可能である。このチャープ補償量は、連続波（CW）動作時からゲインスイ

* 1 応用技術課 副主査

* 2 応用技術課 主任研究員

* 3 応用技術課 技師（現京都府営水道事務所主任）

ツチング動作をしたときの光スペクトラムの広がりからフィードバックすることで見積もることができる。ゲインスイッチング発生回路及び測定構成を図1に示す。

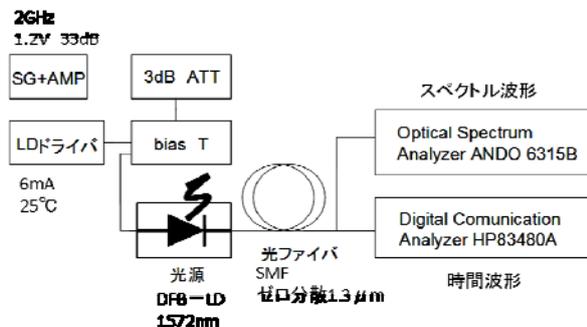


図1 ゲインスイッチング光パルスを観測するための実験構成

半導体レーザーは CW 駆動時 20mW、中心波長 1572nm の分布帰還型 (DFB) レーザーを用いている。信号発生器 (SG) からの出力を高周波アンプにて増幅できる構成を行い、2GHz 正弦波の振幅強度を可変しながら、また LD ドライバにより温度 (25°C)・バイアス電流(6mA)を固定してゲインスイッチングパルス光の発生最適化を図った。3dB アッテネータ (ATT) は、高周波信号の伝送線路内での定在波抑制のために挿入した。得られた時間波形図と光スペクトラム波形を図2、図3に示す。

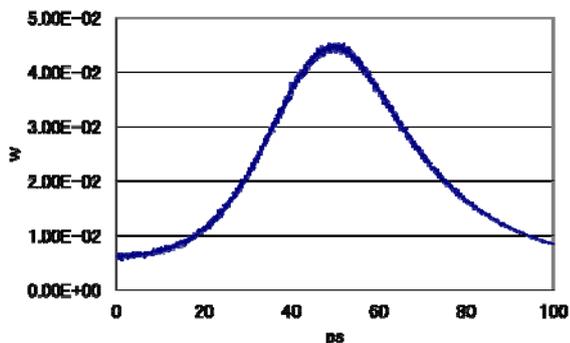


図2 ゲインスイッチングパルス時間波形

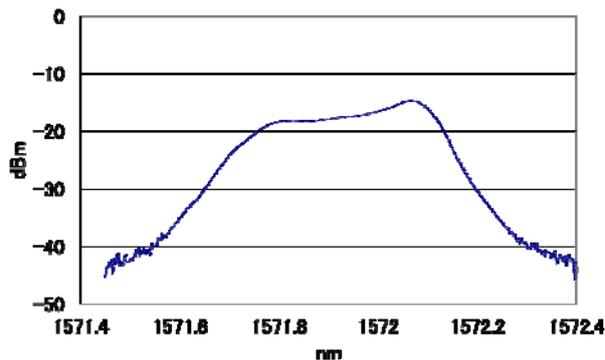


図3 光スペクトラムアナライザ波形

図3からゲインスイッチング光パルスのスペクトル幅は0.33nmであり、変調前スペクトル幅の0.156nmより、チャープ拡がりは、0.3nmとなり、分散補償量は、 -65ps/nm と見積もることかできる。図1におけるゲインスイッチング光パルスのチャープ補償として、分散補償ファイバ (DCF) を挿入したときの実験構成を図4に、分散補償後の波形を図5に示す。

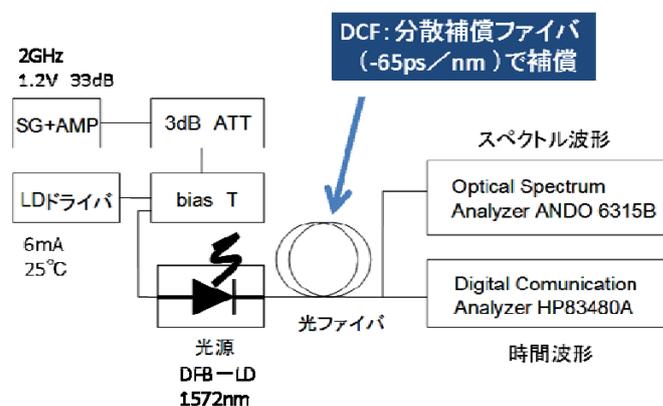


図4 DCFによるチャープ補償実験構成

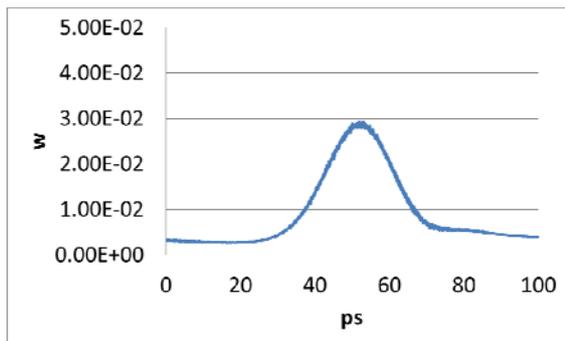


図5 分散補償後の光パルス波形

図2と比較して図5はDCFの挿入損失により透過減衰量が大きくなっていることから、光ピーク強度を規格化することで、光パルス幅の比較を行った結果を図6に示す。

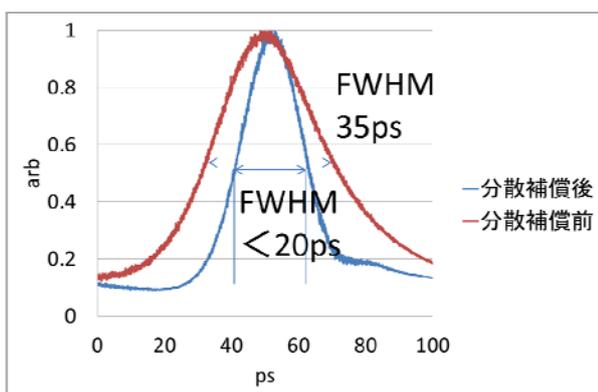


図6 分散補償後のパルス時間波形

分散補償前後において、15ps以上のゲインスイッチング光パルスのチャープが補正され、パルス幅圧縮が起こっていることが確認できる。この-65ps/nmにおける分散補償量の妥当性の検証として、DCFの分散量を、それぞれ-55ps/nm、-60ps/nm、-70ps/nm、-75ps/nmと変化させたときに得られたパルス圧縮波形を図7に示す。

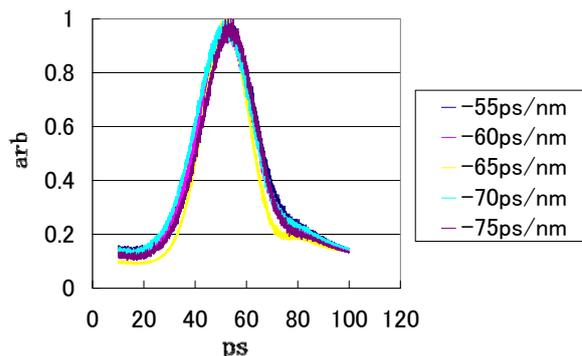


図7 分散補償量の最適化の検証

この結果から、-65ps/nmにおける分散補償量で最もパルス圧縮効果が大きく、設計値の妥当性が検証されている。なお、ゲインスイッチング光パルスのチャープ補償により、フーリエ限界パルスでは半値全幅 (FWHM) 4.4psまで高速化ができることが見積もることができることから、光パルス幅はもっと狭くなっていることがうかがえる。

この計測に用いた光サンプリングオシロスコープ (HP83480A) の帯域幅は50GHzであることから、パルス幅の計測は20psが限界であるため、これ以上の狭いパルス幅を確認することができない。フーリエ限界パルスに到達しているかどうかの確認には、一般的な光/電気変換で計測する計測系から自己相関波形計測が可能なオートコリレーターが必要となる。

2.2 テラヘルツ波計測ステーションの構築

今回発生した光パルスにより、時間領域分光法に基づく計測構成として、テラヘルツ波計測ステーションの構築を試みた。ゲインスイッチング光パルスとDCFによる高速光パルス発生から、1:1分配器で分割し、受信アンテナ側は、光路長遅延のためのステージを配置し、それぞれ光伝導アンテナ (送信・受信) に集光する光学系を全て光ファイバで実現した。この構成を図8、外観を図9に示す。

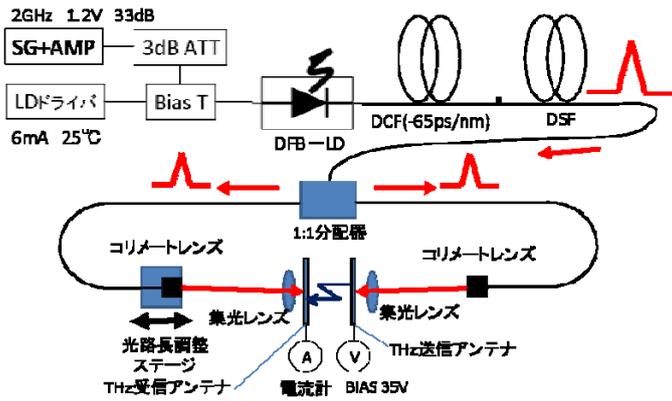


図8 テラヘルツ波計測ステーション構成

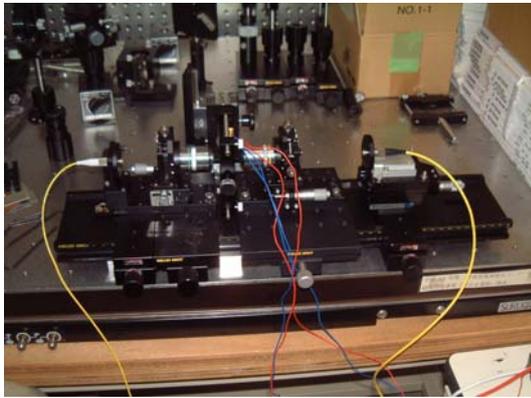


図9 テラヘルツ波計測ステーション外観

今回テラヘルツ波計測ステーションに用いた光伝導アンテナは、低温成長 GaAs 上にストリップラインを配置した TERA8-1 (ソーラボ社製) を対向させ、送信側に +35V のバイアス電圧を加え、受信側の発生電流を計測する構成とした。送信側の光伝導アンテナに光パルスが入射したとき、光励起によるキャリアが生成され、アンテナに電流が誘起される。一方で、受信側には分割された光パルスによってほぼ同タイミングで光励起状態を作り、送信されたテラヘルツ波が受信アンテナに到達するとき、キャリアが生成され電流が流れることから、そのタイミングでのテラヘルツ波の時間的な電場波形を取得することが可能となる。テ

ラヘルツ波の発生パルスを取得するには、送受信波の光路長に差を与えることでの電場波形全体を網羅することができる。

しかしこのような基礎要件を基に、発生した光パルスをテラヘルツ波計測ステーションに適用したが、テラヘルツ波を検出することができなかった。この原因としては、光パルスの強度が低いことと、光伝導アンテナへの集光不足であると考えられる。また、微小電流変化を捉えるために、送信アンテナのバイアス電圧を変調しながら、電流値を計測可能なロックインアンプ検出を行うことで、検出感度を向上することが可能である。

3 まとめ

今回テラヘルツ波時間領域分光のための高速光パルスの発生法として、半導体レーザーのゲインスイッチングパルス発生手法と DCF によるチャープ補償を行い、当センター所有の計測器での測定限界である FWHM20ps を実現した。また、全ての光学系を光ファイバによるテラヘルツ計測可能な「テラヘルツ計測ステーション」を構築した。

発生した光パルスは、高速波形を測定可能なオートコリレーターにより、当センター所有の計測限界以上の光パルス幅の確認が可能である。また、「テラヘルツ計測ステーション」については、光パルス強度の増幅、光伝導アンテナへの光パルス入射の位置決め精度の向上、ロックインアンプによる検出感度の向上により解決を図ることが可能であると考えている。

(参考文献)

- 1) 伊藤 弘昌, 村田 茂, 横山 弘之, 稲葉 文男, “高周波変調にもとづく AlGaAs 半導体レーザーからの超短光パルス発生,” 応用物理 **50**(1981)18
- 2) テラヘルツテクノロジーフォーラム編, “テラ

- ヘルツ技術総覧,” (有) エヌジーティ(2007)
- 3) 安達 雅浩、黒川 悟ほか, “近赤外光パルスを用いた分光分析に関する可能性について”, 京都府中小企業総合センター技報, 31, 15 (2003)
 - 4) 斉藤富士郎, “超高速光デバイス,” 共立出版株式会社(1998)